



TRABALHO FINAL

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA

Clínica Universitária de Otorrinolaringologia

Sistemas de Navegação - Um Apoio à Cirurgia Endoscópica

Eduardo Daniel Miranda Gomes da Silva

Junho'2018



TRABALHO FINAL

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA

Clínica Universitária de Otorrinolaringologia

Sistemas de Navegação - Um Apoio à Cirurgia Endoscópica

Eduardo Daniel Miranda Gomes da Silva

Orientado por:

Dr. Marco Alveirinho Simão

Junho'2018

Resumo

Os primeiros sistemas de navegação surgiram há cerca de três décadas, sendo inicialmente utilizados na neurocirurgia onde o seu objetivo primário consistia em auxiliar na abordagem de estruturas intracranianas em locais de difícil acesso e com pouca visibilidade para o cirurgião, no entanto, esta tecnologia foi rapidamente adotada por outras especialidades, de entre as quais a otorrinolaringologia.

A navegação cirúrgica permite combinar imagens recolhidas no pré-operatório com a informação visual a que o cirurgião tem acesso no bloco, tornando-se particularmente útil na cirurgia endoscópica onde a visão a duas dimensões dificulta a manutenção da noção de profundidade, o que se torna ainda mais evidente em zonas anatomicamente complexas, permitindo também a localização, a cada instante, da posição do material cirúrgico, contribuindo para guiar o procedimento até ao alvo e diminuindo o risco de complicações.

A evidência científica atual, com base em estudos comparativos e revisões, não parece demonstrar uma vantagem significativa, em termos de taxas de sucesso e de complicações, em relação à cirurgia sem auxílio da navegação, contudo em casos complexos que requerem cirurgia de revisão ou em que há grande alteração da posição de estruturas, o uso de sistemas evita a necessidade de se recorrerem a métodos abertos e mais invasivos para o doente.

A existência de diferentes tipos de sistemas de navegação que utilizam diferentes técnicas de registo e localização requer que os médicos se mantenham atualizados em relação às indicações, potencialidades e limitações inerentes ao seu uso.

Palavras-Chave: Sistemas de navegação, cirurgia endoscópica, cirurgia naso-sinusal, localização

Abstract

The first navigation systems were developed three decades ago, initially being used in neurosurgery where their main goal was to help approaching intracranial structures in places that were hard to reach and where the surgeon had low visibility, however this technology was readily adopted by other specialties, among which otolaryngology.

Surgical navigation allows the merging of pre-operative images of the patient with the information that the surgeon has access to during the procedure, thus making it particularly useful in endoscopic surgery where a two-dimensional view makes the perception of depth hard to keep track, which gets even worse in anatomically complex areas, it also allows to locate the position of the surgical tools in every moment, therefore helping to guide the surgeon to the target and lowering the complication rate.

Today's evidence, based on comparative studies and systematic reviews, doesn't seem to show a significant advantage, in terms of success and complication rate, when compared to non-guided surgery, however in complex procedures such as revision surgery or when the local anatomy is greatly distorted, the use of navigation avoids the need to use more invasive methods.

The existence of different types of navigation systems that use different techniques for registering and tracking requires that the physicians keep updated in relation to the indications, capabilities and limitations associated with their use.

Keywords: Navigation systems, endoscopic surgery, sinus surgery, tracking

Índice

Introdução.....	5
Desenvolvimento dos Sistemas de Navegação.....	6
Tipos de Sistemas de Navegação e Princípios da Navegação Cirúrgica.....	10
Modalidades da Imagem.....	10
Técnicas de Localização.....	12
Métodos de Registo.....	16
Navegação em Otorrinolaringologia.....	21
Vantagens e Desvantagens.....	21
Indicações Cirúrgicas.....	24
Evidência na Prática Clínica.....	26
Outras Aplicações em Otorrinolaringologia.....	31
Considerações Finais – Perspetivas Futuras.....	33
Agradecimentos.....	35
Bibliografia.....	36

Introdução

Ao longo dos tempos a tecnologia e o conhecimento científico têm evoluído constantemente permitindo não só dar resposta às necessidades do Homem, como também auxiliar-se mutuamente servindo como meio de impulso para o progresso. Este avanço científico-tecnológico foi notável sobretudo no último século onde inúmeras invenções e descobertas foram feitas nas mais variadas áreas do saber, tais como, a comunicação a longas distâncias sem fios, o desenvolvimento de processadores e mais tarde de microprocessadores, a criação da *internet*, a ressonância magnética, entre tantos outros.

No campo cirúrgico estes avanços permitiram que se desenvolvessem novas técnicas, que visam não só reduzir a mortalidade e morbilidade, diminuindo os riscos inerentes ao próprio procedimento e o período de recuperação no internamento e pós-operatório, mas que também encurtam a duração da cirurgia, sendo ainda esteticamente mais apelativas aos doentes, restringindo a quantidade e a dimensão de cicatrizes, uma das razões que motivou e esteve na base do desenvolvimento da cirurgia minimamente invasiva, possibilitada pelo recurso à cirurgia laparoscópica e endoscópica.

A utilização de métodos cada vez mais ambiciosos e desafiantes para o cirurgião exige, no entanto, que a tecnologia esteja a par do saber prático, levando à criação de instrumentos e aparelhos que contribuam para ultrapassar as limitações impostas pelas novas técnicas, de entre os quais os sistemas de navegação estão entre os mais recentes avanços.

Deste modo, este trabalho procura rever a evolução desta inovadora tecnologia, reconhecer os diferentes sistemas já existentes e identificar as suas principais aplicabilidades na prática clínica, nomeadamente ao nível da otorrinolaringologia.

Desenvolvimento dos Sistemas de Navegação

A tecnologia de navegação em cirurgia está em uso desde há menos de três décadas, tendo possibilitado o transporte de imagens multimodais para o bloco operatório e contribuindo assim de largo modo para aumentar a eficácia de técnicas com alto risco ou elevada dificuldade cirúrgica.

De facto, aquilo que inicialmente constituía apenas uma simples ferramenta para localização é atualmente um elemento-chave em alguns procedimentos. Todavia foi necessário percorrer um longo caminho para se conseguir alcançar a tecnologia que utilizamos hoje em dia, tendo sido a imagiologia, a neurocirurgia e a estereotaxia, três dos principais impulsionadores do seu desenvolvimento ⁽¹⁾.

Foi apenas com o advento da radiologia que pela primeira vez se conseguiu observar de modo não-invasivo o interior do corpo humano, quando nos finais do século XIX, em 1895, Wilhelm Roentgen descobriu o raio-X dando azo a um novo capítulo na história da medicina tanto no tratamento quanto no diagnóstico médico. Os roentgenogramas, mais conhecidos por radiografias, eram no entanto incapazes de expor tecidos moles, o que a nível intracraniano apresentava ainda mais limitações dado a grande quantidade de estruturas nobres confinadas a um pequeno espaço fechado. Assim, para colmatar estas dificuldades, nos anos subsequentes desenvolveram-se novas técnicas que permitiam obter uma maior definição das estruturas cerebrais, nomeadamente a ventriculografia (1918) e a pneumoencefalografia (1919) de Walter Dandy e a angiografia cerebral (1927) de Egas Moniz ⁽²⁾.

Em paralelo, o neurocirurgião Sir Victor Alexander Haden Horsley e o seu colega Robert Henry Clarke, matemático e engenheiro, desenvolveram em 1908 nos seus experimentos com chimpanzés um sistema estereotático craniano com armação, tendo por base atlas neuroanatómicos, capaz de localizar a três dimensões estruturas cerebrais o que permitiu pela primeira vez a introdução de elétrodos para estudo de áreas específicas do cérebro, tendo mais tarde este sistema sido adaptado para uso em humanos com os modelos de Spiegel-Wycis (1947) e Lars Leksell (1949) ⁽³⁾.

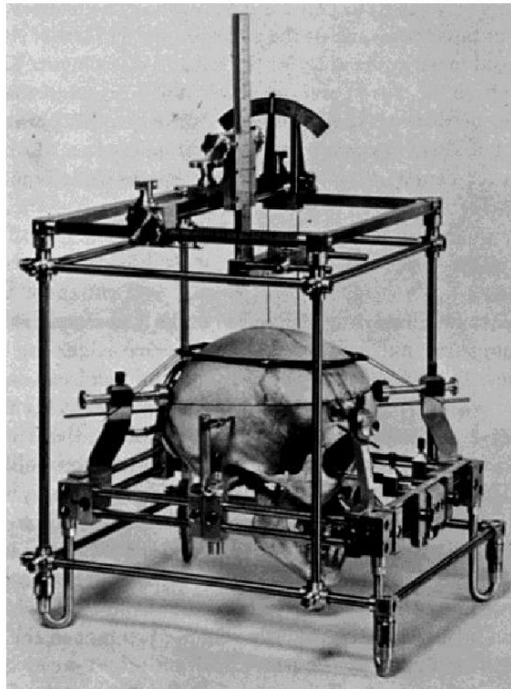


Figura 1 – Modelo estereotático de Spiegel e Wycis usado durante os primeiros procedimentos em humanos



Figura 2 – Modelo estereotático de Leksell

Já nesta altura se entendia que uma das grandes razões que justificava as elevadas taxas de morbilidade e mortalidade associadas à neurocirurgia era a realização de procedimentos invasivos. Com efeito, os estudos de Russel Meyers relativos ao seccionamento do sistema extrapiramidal no tratamento da doença de Parkinson e de outras doenças do movimento relatavam uma taxa de mortalidade na ordem dos 15,7%, enquanto Spiegel através do recurso à cirurgia estereotática apresentava, comparativamente uma taxa de 2% ⁽⁴⁾.

No entanto o uso de armações em estereotaxia impunha também várias limitações, não só ao cirurgião como ao doente: no pré-operatório causava desconforto ao paciente, já intra-operatoriamente impossibilitava o controlo do trajeto dos instrumentos cirúrgicos, apresentava uma visão limitada sobre o campo operatório e não permitia ter consciência de complicações como a rutura de um vaso ou o atingimento de outras estruturas ⁽¹⁾. Além disso, o recurso a atlas anatómicos para o planeamento cirúrgico aumentava a imprecisão, na medida em que não levava em conta a anatomia individual de cada paciente, o que se tornava ainda mais grave nas situações patológicas onde poderia haver deformação, destruição ou invasão de estruturas.

Nos anos 70, com a evolução da robótica e da eletrónica e o aparecimento dos primeiros computadores, Hounsfield foi capaz desenvolver a tomografia axial computadorizada, atualmente apenas tomografia computadorizada, a qual conseguia não só estudar a estrutura interna do cérebro como também a das órbitas e dos seios perinasais, tendo ainda a vantagem de poder ser repetida para acompanhar a evolução de lesões estruturais, ao contrário da angiografia cerebral e da pneumoencefalografia que se tratavam de métodos invasivos. Uma década mais tarde surgiu finalmente a ressonância magnética que veio a constituir o método de imagem com maior definição e detalhe na avaliação de tecidos moles, tendo estes avanços estabelecido então o elo de ligação que faltava para o desenvolvimento da cirurgia estereotática sem recurso a armações através do emprego de sistemas de navegação ⁽²⁾.

Assim, em 1986, David Roberts elaborou o primeiro modelo estereotático com recurso à navegação, sendo o seu dispositivo constituído por uma microscópio operatório com monitorização em 3D através de um digitalizador sónico (figura 3), estabelecendo o conceito inovador de neuronavegação a qual permitia ultrapassar as limitações já mencionadas e cuja principal vantagem era aumentar a capacidade do

cirurgião para compreender, em tempo real, aquilo que se passava intra-operatoriamente, seja pela localização e orientação de instrumentos, seja pela identificação de regiões anatómicas específicas.

A cirurgia com assistência computadorizada, onde se incluem os sistemas de navegação, tornou-se desde então cada vez mais relevante num número variado de especialidades, incluindo, além da neurocirurgia, a cirurgia geral, a ortopedia, a otorrinolaringologia e a cirurgia plástica.

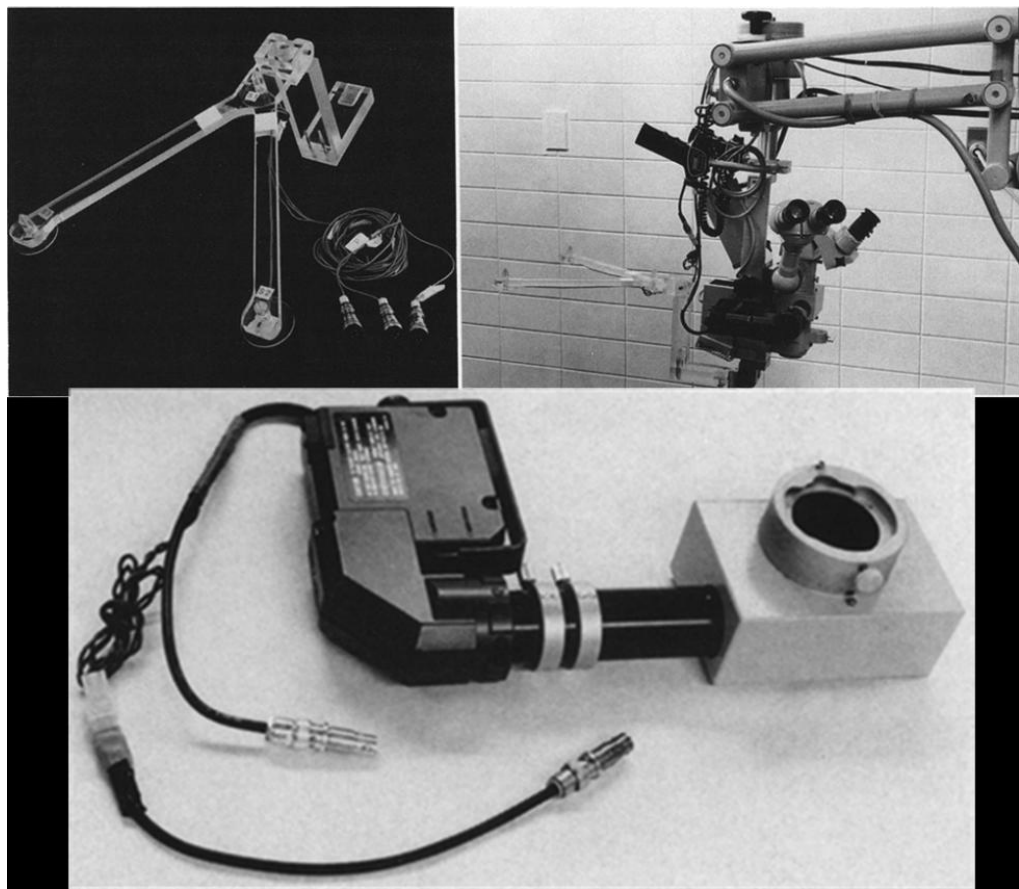


Figura 3 – Componentes do modelo desenvolvido por Roberts. Em cima à esquerda: Componente do sistema de localização acústica que se conecta ao microscópio operatório. Em cima à direita: Microscópio operatório ligado a um projetor ótico. Em baixo: Sistema de projeção ótica ⁽³⁾

Tipos de Sistemas de Navegação e Princípios da Navegação Cirúrgica

Ao falar em sistemas de navegação imediatamente nos recordamos dos conhecidos sistemas de navegação GPS (*global positioning system* ou em português sistema de posicionamento global) utilizados em automóveis ou telemóveis, os quais tal como já referido, à semelhança dos primeiros procuram determinar e localizar um ponto no espaço no contexto daquilo que está ao seu redor, no entanto, enquanto os sistemas de GPS comuns conseguem fazer isto com uma precisão que varia dentro de alguns metros, no campo da medicina as coisas mudam, sendo necessário um rigor na ordem dos milímetros, o que em especialidades como a otorrinolaringologia pode constituir uma diferença grande o suficiente para perfurar a base do crânio.

De acordo com Evers et al, podemos dividir a navegação cirúrgica em seis etapas, tendo por base a informação clínica coletada: a primeira corresponde à aquisição das imagens propriamente ditas, a seguinte à sua transmissão do local onde são adquiridas para o local de processamento uma vez que frequentemente isto ocorre em locais distintos, a terceira ao pré-processamento onde pequenas imperfeições resultantes, por exemplo, do movimento do paciente são corrigidas, a quarta ao processamento onde são identificadas as áreas de interesse da informação colhida, a quinta à fusão, realizando-se apenas nos sistemas multimodais onde é necessário a sobreposição de diferentes imagens e por último temos a fase de apresentação da imagem totalmente sintetizada ⁽⁵⁾. Para melhor compreender os sistemas de navegação devemos ainda ter em conta alguns fatores, nomeadamente, em que modalidade a imagem é captada, como esta é registada e como é efetuado o seguimento e determinada a localização dos instrumentos cirúrgicos.

Modalidades da Imagem

Quando pensamos em modalidades, estamos a referir-nos à técnica imagiológica que o sistema de navegação utiliza e através da qual será obtida a imagem, diferentes modalidades são utilizadas para estudar diferentes órgãos ou estruturas, não só de um

ponto de vista anatómico, mas também de um ponto de vista funcional, conseguindo fazer a sua representação em duas ou três dimensões. Assim, torna-se importante pré-operatoriamente fazer-se uma avaliação do doente com a modalidade mais adequada, a fim de que posteriormente as imagens possam ser processadas e utilizadas no sistema de navegação durante a cirurgia.

A tomografia computadorizada (TC) é atualmente uma das técnicas mais importantes pela possibilidade de adquirir imagens de alta definição sobretudo no estudo de estruturas ósseas, conseguindo ainda através do recurso a contrastes avaliar-se o sistema cardiovascular com elevada precisão, além disso os novos scanners possuem tempos de aquisição mais rápidos e seccionamentos com espessura cada vez menor, aumentando grandemente o detalhe anatómico ⁽²⁾. Apresenta, no entanto, a desvantagem de ter uma menor resolução para tecidos de baixa densidade e por expor o paciente a radiações ionizantes.

A competir com a TC temos a ressonância magnética nuclear (RMN), a qual, além de não utilizar radiação ionizante, permite obter imagens das partes moles com elevada resolução, sendo também capaz de fazer estudos não só anatómicos, mas também funcionais, a nível por exemplo, das diferentes áreas do cérebro, através da ressonância magnética funcional. Por outro lado, tem um elevado custo, não pode ser utilizada em doentes com implantes ou próteses metálicas e a imagem facilmente apresenta artefatos decorrentes de movimentos do paciente.

A ecografia possui uma razão sinal-ruído inferior à ressonância ou à tomografia, sendo que quanto mais elevada esta relação for menores vão ser os fatores que contribuem para a degradação da imagem, o que pode estar associado a variações na definição da imagem e a múltiplos artefactos. No entanto, não expõe o doente a radiação e permite com as novas tecnologias de ecografia a 3D obter imagens de elevada qualidade e aumentar a orientação espacial do cirurgião ⁽⁵⁾.

Além das mencionadas existem ainda inúmeras outras técnicas, desde a radiografia simples, às técnicas da medicina nuclear como a PET (*positron-emission tomography* – tomografia por emissão de positrões) e a SPECT (*single-photon emission computed tomography* – tomografia computadorizada por emissão de fóton único). Estas várias modalidades podem surgir individualmente ou em conjunto, necessitando, neste

último caso, que se recorra a um processo de fusão de imagem, conseguindo-se identificar quatro tipos de sistemas de navegação com base nas modalidades que estão envolvidas ⁽⁶⁾ (tabela 1).

Monomodal	Radiografia; TC; RMN; PET; SPECT; Eco	A imagem registada pertence a uma única modalidade
Multimodal	TC-RMN; TC-PET; TC- SPECT; PET-RMN; PET- Eco; SPECT-RMN etc.	As imagens registadas resultam de duas modalidades diferentes
Modalidade para Modelo	TC; RMN; SPECT; Radiografia	Apenas uma imagem envolvida, a outra modalidade é um modelo
Paciente para Modalidade	TC; RMN; PET; Radiografia	Apenas uma imagem envolvida, a outra modalidade é o paciente

Tabela 1 – Tipos de Modalidades de Sistemas de Navegação ⁽⁶⁾

Técnicas de Localização

Os sistemas de navegação precisam de a cada momento durante o procedimento cirúrgico, localizar as coordenadas dos instrumentos nas três dimensões do espaço (Tx, Ty, Tz), bem como o seu ângulo e rotação (Rx, Ry, Rz), a fim de determinar a sua orientação e posição em relação às restantes estruturas ⁽⁵⁾. Para que tal fosse possível, diferentes sistemas de navegação com recurso a diferentes técnicas de localização vieram a ser desenvolvidos e, apesar de atualmente os sistemas de navegação disponíveis utilizarem, quase exclusivamente, sistemas de localização óticos ou eletromagnéticos ^(7, 8, 9) (figura 4), existiram outras técnicas que pela sua relevância e contributo merecem ser referidas, nomeadamente os sistemas acústicos e mecânicos ou robóticos.

- Sistema de Localização Mecânico/Robótico: Os sistemas mecânicos apesar de terem caído em desuso estiveram entre os primeiros a ser usados de forma rotineira na prática clínica, de facto, a *ISG Viewing Wand* foi o primeiro dispositivo de neuronavegação sem armação a ser utilizado na neurocirurgia ⁽¹⁰⁾. Estes possuíam a vantagem de ter uma boa precisão, cerca de 1 mm, sem apresentarem interrupções da navegação por limitações na linha de visão ou por perturbações quer técnicas, quer ambientais, decorrentes da movimentação em redor da mesa de operação. No entanto, além de só conseguirem localizar um único instrumento cirúrgico de cada vez, por serem dispositivos pesados e de grande magnitude ocupavam bastante espaço dentro do bloco operatório e apresentavam uma mobilidade e alcance reduzidos, sendo difíceis de manejar, o que na otorrinolaringologia, por exemplo, constituía um entrave dada a necessidade de frequentemente mover a cabeça do paciente ^(5, 10, 11).
- Sistema de Localização Acústico: Estiveram entre os primeiros sistemas a ser utilizados por possibilitarem uma elevada velocidade de computação dos seus sinais, aliada à ausência de necessidade de contacto visual entre o instrumento e o sensor do sistema, contudo por serem bastante suscetíveis a interferência de fatores externos, como temperatura, pressão, campos magnéticos e reflexões de sinal, tinham uma menor sensibilidade e precisão, acabando por ser postos de lado ^(5, 11).
- Sistema de Localização Ótico: Os sistemas de navegação óticos estão entre os mais utilizados da atualidade e são aqueles que conseguem obter a maior precisão intra-operatoriamente, com valores inferiores a 0,5 mm. Estes sistemas recorrem à utilização de sensores de luz infravermelha, geralmente duas ou três câmeras ligadas ao computador, em conjunto com emissores e refletores de luz, os quais são acoplados ao instrumento que se pretende seguir, sendo designados de dispositivos de localização intraoperatória (*intraoperative localization device, ILD*. Figura 5), e ao próprio paciente através da colocação de uma fita em torno da cabeça ou de uma banda, sendo neste caso chamados de sistemas de referência dinâmica (*dynamic reference frame, DRF*) ⁽⁹⁾. Uma das suas maiores desvantagens consiste na necessidade de haver uma linha de visão em todos os

momentos entre a câmara sensora e o instrumento a rastrear, sendo que caso esta seja obstruído há risco de imediatamente ser perdida a localização das ferramentas cirúrgicas ^(5, 7-11).

- Sistema de Localização Eletromagnético: Constituem os mais recentes sistemas de navegação recorrendo, como o próprio nome indica, à produção de campos eletromagnéticos para exercer as suas funções, sendo colocado um emissor numa faixa utilizada pelo paciente (figura 6) e recetores no material cirúrgico, que no caso dos sistemas eletromagnéticos precisam de estar ligados por fios ao sistema, tendo esta tecnologia sido desenvolvida a fim de colmatar a grande falha dos sistemas óticos, já que ao contrário destes não necessitam da existência de uma linha de visão contínua sobre o recetor. Por outro lado, a produção de campos eletromagnéticos pode sofrer distorções pela presença de metais e materiais magnetizáveis próximos ao aparelho, o que diminui a precisão do rastreamento, o qual é ligeiramente inferior ao dos sistemas óticos. Além disso o seu uso constitui uma contraindicação relativa em pacientes com implantes cocleares ou pacemakers e uma contraindicação absoluta nos casos de indivíduos com aparelhos eletrónicos no cérebro ou no restante sistema nervoso, já que estes podem também interferir no campo eletromagnético do sistema ^(5, 7-11).
- Sistema de Localização Híbrido: Além das técnicas de localização referidas existem, atualmente, outras em desenvolvimento que visam combinar as vantagens dos diferentes sistemas a fim de colmatar as suas falhas, sendo designados de Sistemas Híbridos. Através destes poderia combinar-se duas medidas espaciais diferentes, obtendo-se uma tecnologia capaz de oferecer a precisão da localização ótica, complementada com a constante e ininterrupta localização eletromagnética. Todavia um dos obstáculos ao seu desenvolvimento resulta do atraso no tempo de registo que ocorre ao combinar ambas as técnicas, levando a uma maior taxa de erro ^(5, 11).

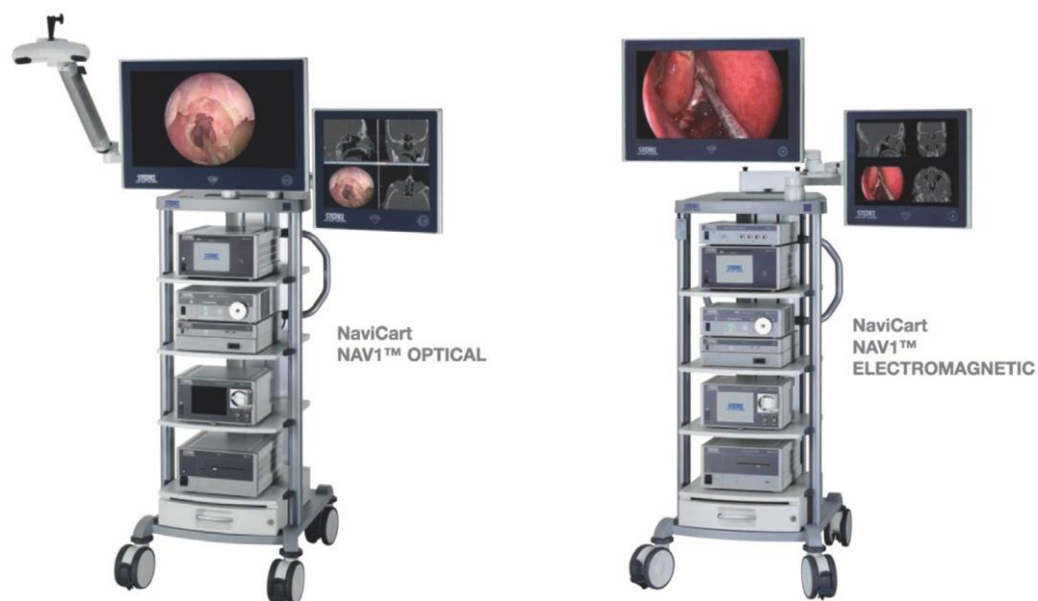


Figura 4 – Sistema de navegação ótico (esquerda) e sistema eletromagnético (direita) ⁽⁷⁾



Figura 5 – Dispositivo de Localização Intraoperatória (ILD) com três esferas refletoras de luz a qual é captada por uma câmera que determina a posição do instrumento ⁽⁹⁾

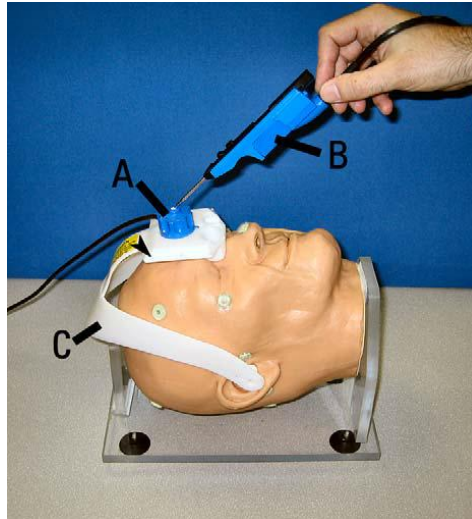


Figura 6 – **A**- Emissor eletromagnético acoplado a faixa na cabeça do paciente; **B** – instrumento cirúrgico com recetor que determina a posição relativa do campo eletromagnético produzido pelo emissor; **C** – Faixa utilizada para fixar o emissor ao paciente; **Ponta de Seta** – Marcador de referência para registo automático ⁽⁹⁾

Métodos de Registo

O registo de imagens médicas corresponde ao processo através do qual os volumes de duas imagens são geometricamente alinhados de modo a que os voxels que representam as mesmas estruturas anatómicas possam ser sobrepostos um no outro ⁽⁵⁾, por outras palavras, após se seleccionar o tipo de sistema que se pretende utilizar é necessário, já no bloco operatório, estabelecer a relação entre os dados imagiológicos coletados e que, a priori deverão ter sido transmitidos para o sistema de navegação, com o espaço físico do bloco, o paciente e os instrumentos cirúrgicos. Para que tal seja possível recorre-se a um processo de registo, no qual, pontos de referência escolhidos pelo cirurgião são correlacionados com os pontos das imagens guardadas no sistema, possuindo cada um destes coordenadas específicas, assim durante a operação o sistema de navegação deduz a cada instante a posição dos instrumentos por extrapolação dos pontos registados.

Os protocolos de registo podem ser classificados em três grandes categorias: registo de pontos emparelhados (*paired point registration, PPR*), registo automático e registo baseado em contornos ou de superfície (*contour-based registration, CBR*) ⁽⁹⁾.

- Registo de Pontos Emparelhados: O uso de pontos emparelhados constitui o modo mais antigo de registo, sendo aquele que mais se utilizava nos sistemas de navegação ótica, apesar de atualmente já começar a perder terreno para o registo de superfície. Para a otimização deste método devem usar-se pontos de referência do paciente relativamente fixos e imóveis, sendo geralmente utilizadas estruturas anatómicas como saliências ósseas, nomeadamente o hemicanto externo de ambos os olhos, o trágus, a raiz nasal e o sulco nasolabial (figura 7), em detrimento de tecidos moles, não só pela maleabilidade dos mesmos, mas também pela variação da tensão facial durante o registo imagiológico com o doente desperto comparativamente com o doente sob anestesia geral durante a cirurgia, o que pode condicionar diferenças de posição nos pontos de referência de cerca de 2 mm ⁽⁸⁾. Em alternativa às estruturas anatómicas pode recorrer-se ao uso de marcadores fixados à pele ou, em casos de cirurgias de muito elevada precisão, a marcadores com fixação óssea.

O cirurgião deve então selecionar na imagem do sistema o ponto que pretende utilizar e, posteriormente, com o auxílio de uma sonda calibrada tocar no ponto de referência escolhido no paciente.

- Registo Automático: Nesta modalidade de registo os pontos de referência têm posições definidas, estando incorporados numa faixa ou banda colocada na cabeça do paciente (figura 6), a qual tem de ser usada durante a recolha de imagens no pré-operatório e durante a cirurgia. Estas bandas além de semirrígidas são desenhadas para encaixarem de uma única forma, assim o doente pode utilizá-las durante a aquisição de imagens e na cirurgia sem que haja uma grande variação na posição dos marcadores.

O sistema de navegação neste caso já está programado para automaticamente reconhecer os pontos de referência numa primeira fase no pré-operatório e posteriormente relacioná-los com o paciente no bloco operatório, o que constitui uma enorme vantagem pela rapidez do processo de registo, a facilidade do uso e a ausência do risco de ocorrerem alterações posicionais dos pontos de referência selecionados. Em contrapartida, se a banda não for colocada corretamente o registo vai ser necessariamente diferente nas duas avaliações, além disso não permite que se escolham outros pontos de referência caso a cirurgia em questão

o requeira ⁽⁹⁾.

- **Registo de Superfície:** O registo de superfície foi desenvolvido apenas há cerca de uma década, constituindo um dos mais recentes métodos para registo, tornando-se desde então um procedimento de eleição nos sistemas de navegação eletromagnéticos e cada vez mais nos sistemas de navegação ótica. Com esta tecnologia o software produz automaticamente uma imagem a três dimensões com base na imagiologia pré-operatória do paciente, a qual é depois alinhada com a imagem que se gera através dos 100 a 500 pontos registados a partir dos contornos faciais do mesmo e que se obtêm com recurso a uma sonda calibrada (figura 8), que deve ser passada sobre o rosto do doente ou com um laser, que reflete a luz dos contornos da face para uma câmara. Apesar de ambos possuírem precisões semelhantes, o registo com laser revelou-se mais rápido (20 segundos vs 63 segundos) ⁽⁹⁾.

Este modo de registo evita o uso de faixas e bandas e pelo elevado número de pontos seleccionados diminui os erros relacionados aos locais escolhidos para os marcadores de referência, uma das suas desvantagens reside, no entanto, no facto deste método se tornar obsoleto caso haja uma grande variação nos contornos faciais do doente no período entre a recolha de imagens e a operação.

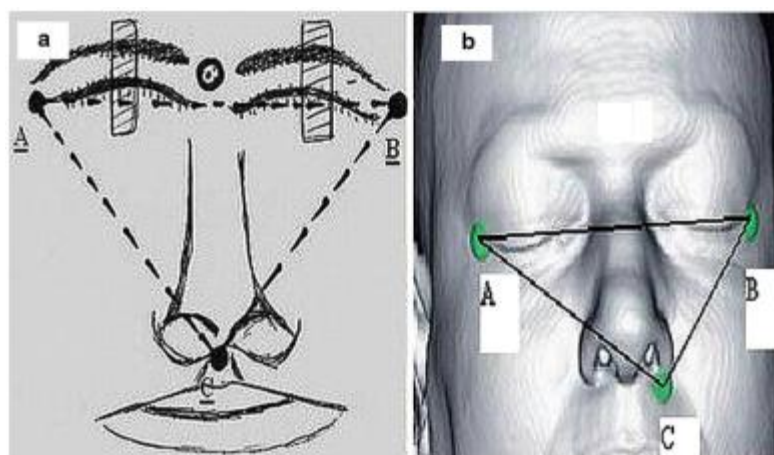


Figura 7 – Exemplos de pontos de referência utilizados no registo com pontos emparelhados.

A – Canto externo do olho direito; **B** – Canto externo do olho esquerdo; **C** – Sulco nasolabial ⁽¹²⁾



Figura 8 – Registo de Superfície: A sonda deve ser segurada a 90º graus de modo a evitar perdas de contacto ou excesso de pressão ⁽⁸⁾

A escolha do método de registo torna-se importante uma vez que constitui outro dos fatores que contribui para a variação da precisão intraoperatória, de facto num estudo recente (2016) em que se comparavam diferentes modalidades de registo concluiu-se que o uso de marcadores invasivos era aquele que conferia maior precisão cirúrgica, com um erro de registo do alvo de $0,94 \pm 0,06$ mm, comparado a $1,41 \pm 0,04$ mm para o método automático, $1,59 \pm 0,14$ mm para o método de superfície e $5,15 \pm 0,66$ mm usando estruturas anatómicas de referência, o que evidencia a elevada utilidade dos marcadores invasivos quando são necessárias cirurgias com margens mínimas para imprecisão ⁽¹³⁾. Noutro estudo em que se comparou o erro de registo do alvo em diferentes pontos do crânio entre o registo automático e o registo de pares, concluiu-se que de uma forma geral o registo automático apresenta maior precisão (gráfico 1) ⁽¹⁴⁾.

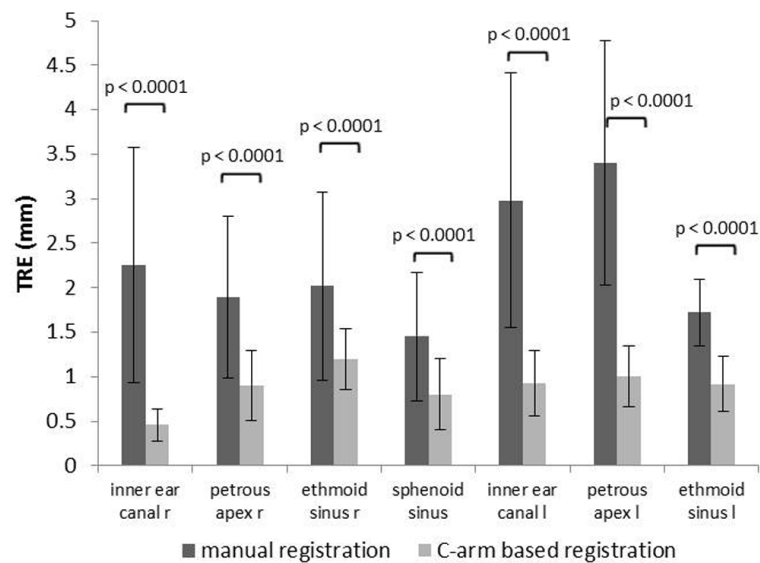


Gráfico 1 – Comparação dos erros de registo do alvo (*target registration error. TRE*), entre registo de pares emparelhados (cinzento escuro) e registo automático (cinzento claro) ⁽¹⁴⁾

Por este motivo, além dos métodos referidos existem já em desenvolvimento outras técnicas para registo, baseadas nos mesmos princípios como o uso de máscaras maleáveis cobertas de LEDs, os quais são registados por uma câmara, servindo de marcadores (figura 9), combinando-se a facilidade do uso do registo automático com a diminuição da margem de erro, pelo elevado número de marcadores, do registo de superfície.

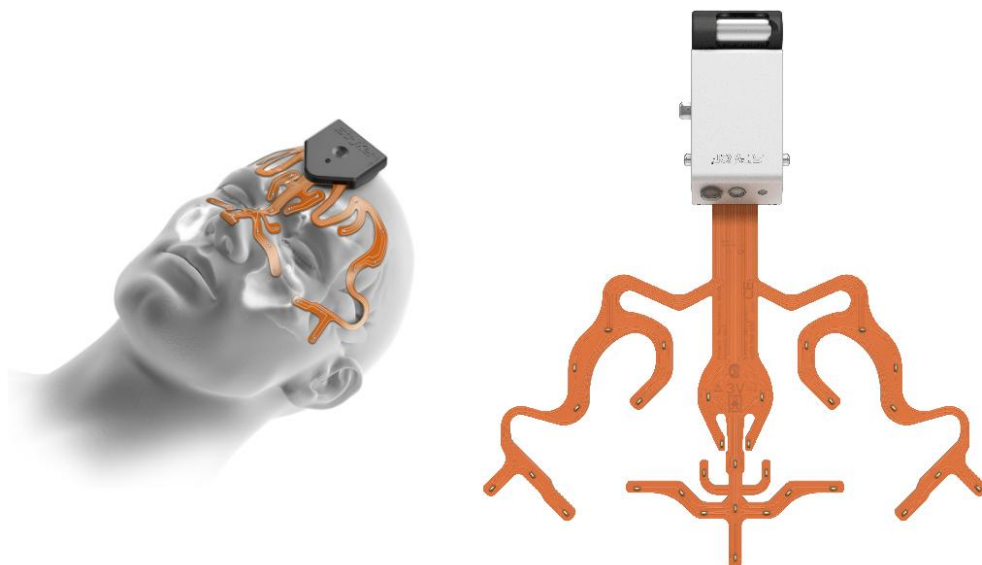


Figura 9 – Exemplo de Máscara de Registo com recurso a LEDs (*Stryker Cranial Map 3.0*)

Navegação em Otorrinolaringologia

A otorrinolaringologia enquanto especialidade médico-cirúrgica possui a árdua tarefa de ter de operar em locais de acesso muito limitado, em que uma grande multiplicidade de órgãos e estruturas vasculo-nervosas se encontram próximas entre si, aumentando o risco de complicações, bem como a morbilidade e mortalidade. A rinologia constitui um paradigma desta problemática, nomeadamente com a abordagem cirúrgica dos seios perinasais.

De facto, até à década de 80 do século passado, quando surgiram os primeiros procedimentos endoscópicos, a cirurgia perinasal só era passível de ser realizada por via aberta com recurso a incisões externas. Ainda assim, a endoscopia possuía múltiplas limitações, por um lado apresentava uma curva de aprendizagem bastante longa, por outro as imagens projetadas eram apenas representações a duas dimensões de uma região anatómica extremamente complexa de um ponto de vista tridimensional, constituindo um embaraço à coordenação óculo-manual, à noção de profundidade e à perceção do tamanho do objeto ⁽¹⁵⁾, aliado a isto a imagem endoscópica apresenta geralmente uma perspetiva angular ampla, o que significa que a fim de se obterem imagens panorâmicas onde mais informação visual está contida ocorre uma distorção esférica da mesma, aquilo a que se chama “efeito olho de peixe” ⁽¹⁶⁾.

Esta multiplicidade de razões, aliada à facilidade em definir referências anatómicas rígidas ao nível da face e na aplicação bandas de referência dinâmica, levou a que a rinologia, mais do que a otologia e a laringologia, tenha estado entre as primeiras áreas médicas a seguir à neurocirurgia a adotar o uso de sistemas de navegação para auxílio de casos considerados cirurgicamente complexos.

Vantagens e Desvantagens

Como referido, os sistemas de navegação que utilizamos atualmente na prática clínica são sistemas óticos ou eletromagnéticos os quais além de fornecerem ao cirurgião uma maior perceção espacial, auxiliam na remoção de células etmoidais de

reduzidas dimensões, facilitam a abordagem endoscópica de locais de difícil acesso como o seio frontal ou o seio esfenoidal e permitem identificar alterações anatómicas congénitas ou resultantes do processo patológico de base, contribuindo para uma completa exploração da base do crânio e das fossas nasais ⁽¹²⁾.

O uso desta tecnologia apresenta ainda a vantagem de contribuir para a expansão da cirurgia minimamente invasiva, aumentando grandemente a precisão e a exatidão intraoperatórias em áreas difíceis de visualizar, o que por conseguinte aumenta também a segurança e a eficácia dos procedimentos, diminuindo o risco de hemorragia e outras complicações por lesão de estruturas vasculo-nervosas dos tecidos envolventes ⁽⁷⁾. Neste sentido, tanto os sistemas óticos como os eletromagnéticos apresentam bastantes semelhanças, ambos conseguem identificar alvos com precisões inferiores a 2 mm, possuem tempos de registo e preparação do sistema entre 10 a 15 minutos e estão associados a perdas hemáticas e a períodos operatórios muito idênticos ^(17, 18).

Isto contribui para aumentar a produtividade e a confiança do cirurgião nas suas próprias capacidades, no entanto, vale a pena ressaltar que enquanto ferramentas de apoio à cirurgia, os sistemas de navegação não podem nunca substituir a experiência pessoal e técnica do cirurgião, bem como o conhecimento anatómico da área a operar, não devendo este tornar-se dependente dos mesmos ⁽¹⁹⁾.

Por outro lado, devemos ter em conta que o uso de navegação cirúrgica requer treino e experiência extra, não só da parte do cirurgião como dos restantes membros da equipa dentro do bloco operatório, além disso o tempo necessário para registar os pontos de referência e calibrar os instrumentos aliado ao elevado custo destas tecnologias, que pode alcançar em média os 100.000€-200.000€, força a que as instituições tenham que levar em linha de conta o custo-efetividade do seu uso ^(12, 20).

No que diz respeito ao processo de registo, uma etapa fundamental para garantir a precisão intraoperatória do sistema, a ausência de estruturas anatómicas de referência ou a sua aplicação em áreas com tecidos moles e demasiado móveis constitui um fator gerador de erro, o que tem limitado o seu uso na realização de alguns procedimentos e consequentemente a falta de estudos e investimento nalgumas especialidades.

Outra das desvantagens inerentes ao uso da navegação relaciona-se com o facto de o período de tempo que separa a aquisição de imagens pré-operatórias da operação

propriamente dita poder ser de vários dias a alguns meses, deste modo, patologias que condicionem alterações rápidas da anatomia local levarão a uma diminuição da precisão cirúrgica, sendo esta uma das razões que tem motivado o desenvolvimento de técnicas de navegação com recurso a imagiologia intraoperatória, as quais poderão vir a ter maior visibilidade no futuro ⁽⁷⁾.

Finalmente, é necessário ter ainda em consideração as limitações físicas de cada tipo de sistema, por um lado os sistemas eletromagnéticos requerem que os instrumentos cirúrgicos utilizados possuam sensores ligados por cabos, o que pode constituir um estorvo à movimentação dentro do bloco operatório, além disso a presença de materiais magnetizáveis interfere com o campo eletromagnético gerado, diminuindo a precisão do sistema ^(7, 21), por outro lado os sistemas óticos necessitam que haja uma linha de visão totalmente desobstruída para permitir que a localização dos instrumentos se faça de modo contínuo (figura 10), sendo também necessário que as câmeras de infravermelhos do sistema se encontrem a uma distância ótima do campo operatório a fim de reduzir obstruções secundárias a reflexos luminosos dentro da sala de volta para a câmara ⁽²⁰⁾.

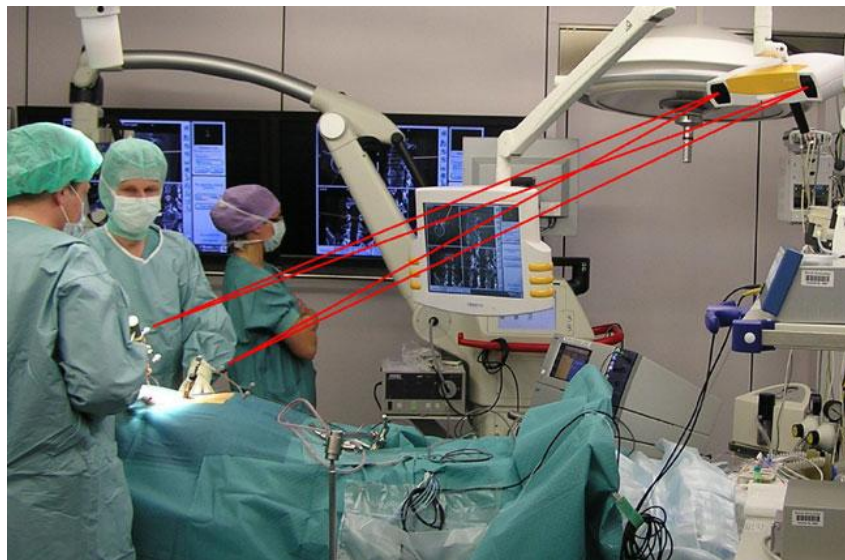


Figura 10 – Sistema de navegação ótico: As câmeras de infravermelhos (canto superior direito) têm de estar a todo o momento a monitorizar a posição dos dispositivos de localização intraoperatória (canto inferior esquerdo) ⁽¹⁾

Indicações Cirúrgicas

Existe atualmente consenso e evidência suficientes para definir, dentro da rinologia, algumas aplicações para o uso da tecnologia de navegação na prática clínica.

De acordo com a Academia Americana de Otorrinolaringologia – Cirurgia da Cabeça e Pescoço, incluem-se entre as suas indicações: todo o tipo de cirurgia de revisão das cavidades e seios perinasais, com ou sem distorção anatômica associada, onde existem adesões e tecido cicatricial extenso; correção de anomalias congénitas, como atresia das choanas, traumáticas ou pós-operatórias; procedimentos que constituam um desafio cirúrgico pela sua localização, nomeadamente patologia dos seios frontal, esfenoidal ou etmoidal posterior; lesões adjacentes à base do crânio, órbita, nervo ótico ou carótida interna; sinusite crónica e recorrente, mucocelos, polipose naso-sinusal extensa ou perda de líquido cefalorraquidiano associado a rinorráquia; patologia oncológica, nomeadamente neoplasias benignas ou malignas, como papilomas, osteomas, angiofibroma naso-faríngeo juvenil, entre outros tumores naso-sinusais ^(7, 9, 11, 12).

Na infância os sistemas de navegação tornam-se particularmente úteis, visto que, em crianças a cavidade nasal e os seios perinasais se encontram ainda em desenvolvimento até se atingir a idade adulta, o que condiciona que à medida que o processo de pneumatização (figura 11) ocorre os pontos de referência cranianos, bem como a anatomia local estejam em constante mudança. De facto, num estudo comparativo concluiu-se que além de possuírem indicações cirúrgicas praticamente idênticas aos adultos (gráfico 2), não houve evidência de que o uso desta tecnologia nesta faixa etária estivesse associada a menor precisão intraoperatória ou a complicações major ⁽²²⁾.

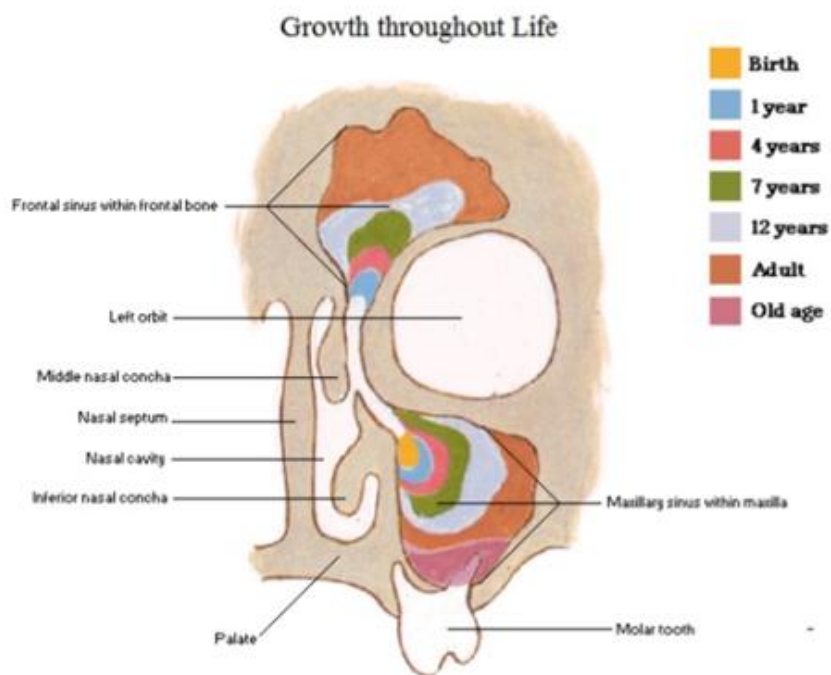


Figura 11 – Processo de pneumatização no seio frontal e maxilar ao longo da vida ⁽²³⁾

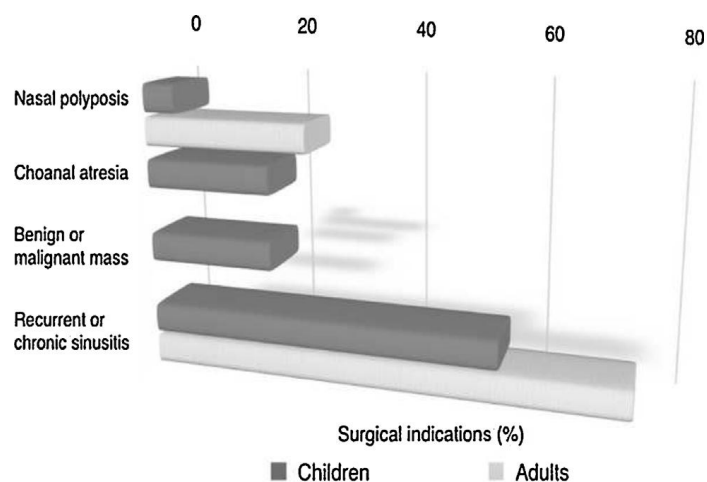


Gráfico 2 – Indicações cirúrgicas em crianças (cinzento escuro) e adultos (cinzento claro) ⁽²²⁾

Dentro do bloco operatório o monitor do sistema de navegação apresenta ao cirurgião os dados imagiológicos coletados previamente num corte coronal, sagital e axial, sendo que em cada um destes uma seta ou ponto vai acompanhando em tempo real o movimento dos instrumentos cirúrgicos, havendo ainda outro quadrante do ecrã onde se visualiza a imagem captada pelo endoscópio (figura 12).

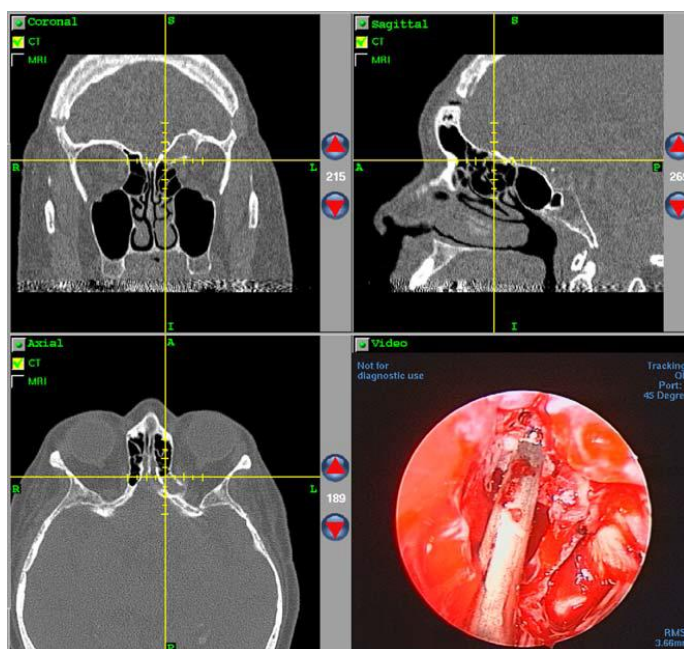


Figura 12 – Imagens exibidas no monitor de um sistema de navegação ⁽⁹⁾

Evidência na Prática Clínica

Antes do desenvolvimento das técnicas de endoscopia o objetivo primário das intervenções aos seios perinasais em patologias crônicas ou extensas consistia em remover completamente toda a mucosa das regiões afetadas, o que levava consequentemente ao desenvolvimento de tecido cicatricial e osteogênese, bem como a um aumento da incidência de mucocelos e dor crônica. Foi apenas com o contributo de Messerklinger que se reforçou a ideia da importância de preservar a mucosa nasociliar, passando-se de uma abordagem cirúrgica radical para uma com um foco localizado ^(24, 25), neste sentido a utilização de sistemas de navegação aumenta a precisão intraoperatória, reduzindo a excisão de áreas de tecido são.

- Tratamento da Sinusite Crônica: No tratamento de pacientes com rinossinusite crônica, num estudo de *Mueller et al.*, verificou-se que a incidência de complicações era de 6,5% com o uso de sistemas de navegação e a necessidade de recorrer a cirurgia de revisão era de 9,2%, enquanto no grupo em que não se

utilizou esta tecnologia a taxa de complicações foi de 6% e a da cirurgia de revisão de 10,7%, tendo o autor concluído que, ainda que não houvesse uma diferença significativa nos dois grupos, o uso dos sistemas de navegação constituiu uma importante ferramenta para auxiliar na orientação durante a cirurgia endoscópica ⁽²⁶⁾. Noutro estudo, avaliaram-se 79 casos de pacientes com rinossinusite crónica refratária a terapêutica médica, onde se constatou que o uso da navegação possibilitou a remoção de tecido lesado de forma mais minuciosa, dado o maior controlo espacial do cirurgião sobre a posição dos instrumentos, reduzindo a excisão de tecido sã ⁽²⁷⁾.

- Abordagem do Seio Etmoidal: *Eliashar et al.*, avaliaram a taxa de complicações ao nível da cirurgia de revisão etmoidal, em pacientes onde a cirurgia primária havia alterado a anatomia local, por remoção do corneto médio, rutura da lâmina papirácea, presença de sinequias ou hiperostose, tendo verificado que o uso de sistemas de navegação estava associado a taxas extremamente baixas de complicações, com apenas um caso de complicação menor por hematoma orbitário pré-septal ⁽²⁸⁾, enquanto *Jiang*, na realização de cirurgia de revisão endoscópica sem o auxílio de sistemas de navegação relatou complicações em 9,9% dos casos, associadas a lesão peri-orbitária ou das vias lacrimais, epistáxis e necessidade de transfusão ⁽²⁹⁾.
- Abordagem do Seio Frontal: Em relação ao seio frontal, de um ponto de vista anatómico, este apresenta com o seu trato de saída a forma de uma ampulheta, em que o istmo corresponde ao óstio frontal, o qual se abre inferiormente no recesso frontal, cujo diâmetro depende da relação com as estruturas adjacentes, nomeadamente a bula etmoidal, posteriormente, o *agger nasi*, anteriormente, o corneto médio, medialmente e a lâmina papirácea, lateralmente (figura 13), podendo estas obstruir a via de drenagem do canal, diminuindo a sua patência e consequentemente, predispondo ao desenvolvimento de patologias ^(8, 30).

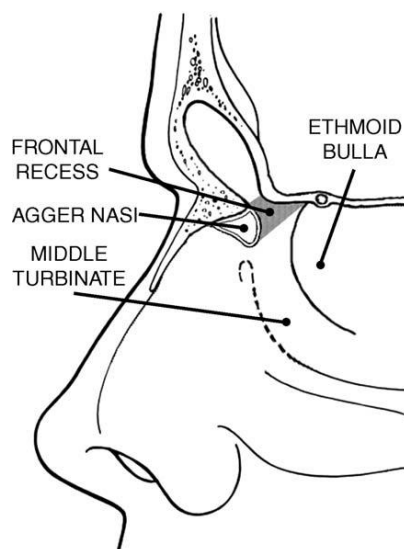


Figura 13 – Anatomia do seio e recesso frontal em corte sagital ⁽³⁰⁾

Pelas relações anatómicas complexas que o trato de saída apresenta o uso de sistemas de navegação está indicado na repermeabilização do seio frontal, na sinusite refratária a terapêutica médica e na obliteração frontal por via externa, na sinusite persistente após cirurgia endoscópica. De acordo com *Orlandi e Kennedy*, as duas principais causas de obstrução do trato de saída em pacientes não operados resultam de células do *agger nasi* dilatadas ou de um processo uncinado do etmóide medialmente deslocado, já nos pacientes com obstrução após cirurgia primária as causas mais frequentemente associadas eram, além de tecido cicatricial e do desenvolvimento de osteogénese, a presença de células etmoidais supraorbitárias que não foram previamente identificadas, uma vez que sem o auxílio da navegação estas são facilmente confundidas endoscopicamente com o seio frontal ⁽³¹⁾ (figura 14). Num estudo de *Reardon* com 800 casos de cirurgia do seio frontal, concluiu-se que a taxa de repermeabilização era superior quando se utilizava a tecnologia de navegação, o que não se verificou nas cirurgias a nível do seio maxilar, etmoidal ou esfenoidal ⁽³²⁾.

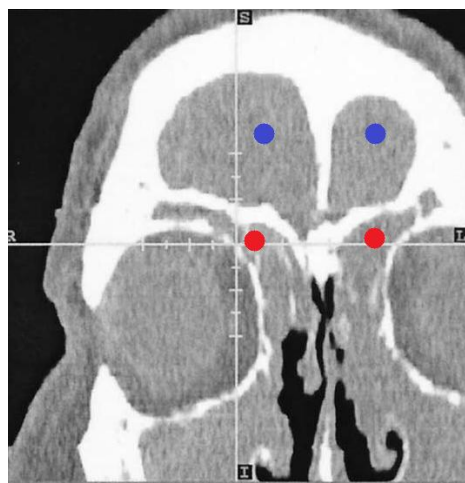


Figura 14 – Células supraorbitárias (vermelho) e seios frontais (azul) em corte coronal de TC ⁽³¹⁾

Nos casos em que é necessário recorrer à abordagem externa do seio frontal, nomeadamente em técnicas de obliteração, apesar das taxas de sucesso serem elevadas, em cerca de 20% dos pacientes registam-se complicações major como exposição da dura-máter, perda de líquido céfalo-raquidiano ou extrusão da gordura orbitária, as quais resultam de osteotomias demasiado extensas que ultrapassam os limites do seio frontal. Neste sentido o uso de sistemas de navegação provou-se uma ferramenta útil para delinear de forma segura e precisa as margens do seio, com uma redução significativa da taxa de complicações ^(8, 30, 33), sendo que o uso desta tecnologia implica, no entanto, que a banda utilizada pelo paciente seja colocada numa posição diferente da usual já que tipicamente esta fica assente sobre a região frontal e a porção medial das órbitas, impossibilitando a realização de incisões a esse nível.

- Perdas de Líquido Céfalo-Raquidiano: A rinorráquia resulta da perda de líquido céfalo-raquidiano do espaço subaracnoideu para as cavidades nasais, sendo que 80% dos casos são de etiologia traumática. Os principais locais onde ocorrem estas perdas são ao nível do seio esfenoidal (30%), seio frontal (30%) e na placa cribriforme do etmóide (23%), no entanto, estes valores mudam se estivermos a falar de perdas de LCR pós-cirurgia endoscópica onde o principal local de fuga é a placa cribriforme (80%) ⁽³⁴⁾.

A cirurgia endoscópica apresenta bons resultados no encerramento de fraturas traumáticas ou espontâneas da base do crânio e, embora num estudo comparativo de *Tabaee et al.* não se terem verificado diferenças significativas nas taxas de sucesso na reparação com ou sem sistemas de navegação ⁽³⁵⁾, estudos posteriores de *Zuckerman* e *DelGaudio* ressaltaram a importância desta tecnologia para localizar e identificar fraturas e defeitos de pequenas dimensões, diminuindo a necessidade de intervenções adicionais como a administração intratecal de fluoresceína ou a drenagem lombar, os quais além de serem procedimentos invasivos constituem gastos adicionais ⁽³⁶⁾. A navegação cirúrgica tem ainda potencial de uso nos casos em que as fraturas ocorrem próximas de estruturas importantes como a carótida ou o nervo ótico e em locais de difícil acesso como o seio frontal ^(8, 16).

- Neoplasias Naso-Sinusais: Na patologia tumoral onde existe grande destruição anatómica os sistemas de navegação tornam-se particularmente úteis pela capacidade de reconhecerem estruturas alteradas e identificarem os limites do tumor. Durante a ressecção cirúrgica, esta tecnologia fornece ainda ao operador informações acerca da proximidade de vasos ou nervos e sobre locais de invasão da base do crânio ou adelgaçamento da lâmina óssea ^(8,19).

O desenvolvimento da endoscopia e posteriormente da navegação vieram substituir a tradicional abordagem por via aberta no tratamento da patologia oncológica. *Ye et al.*, num estudo a 15 pacientes com fibroma ossificante concluiu que o uso de sistemas navegação permite remover rapidamente o tumor, determinar as suas margens de ressecção e controlar o suprimento vascular através das artérias etmoidais anterior e posterior, as quais são frequentemente motivo de complicações hemorrágicas durante abordagens endoscópicas das cavidades nasais ⁽³⁷⁾, tendo isto sido verificado noutros estudos em osteomas naso-sinusais ⁽³⁸⁾ e no papiloma invertido ⁽³⁹⁾, equiparando-se a eficácia desta técnica à abordagem tradicional mas com menor morbilidade e tempo de internamento. Estas conclusões começam também já a ser reportadas em casos de neoplasias malignas ⁽⁴⁰⁾, onde alguns consideram ainda controverso o uso da cirurgia endoscópica ⁽⁸⁾.

Outras Aplicações em Otorrinolaringologia

Como já referido anteriormente, o uso da navegação intraoperatória requer que sejam definidos pontos de referência para registo do sistema, deste modo a abordagem cirúrgica em laringologia apresenta grandes limitações pela abundância de tecidos moles no pescoço e pela dificuldade em fixá-los numa posição estável durante o procedimento. Num dos poucos registos bibliográficos a este nível, *Mierzwa et al.*, conseguiram excisar uma metástase oculta retrofaríngea com o auxílio da navegação após aplicarem uma máscara termoplástica, utilizada habitualmente em radioterapia, cortada ao nível da região oral para fixar a cabeça e o pescoço de um paciente que havia sido previamente intervencionado para excisão de carcinoma amigdalino, não se tendo conseguido nessa primeira abordagem identificar a metástase após exploração do espaço retrofaríngeo ⁽⁴¹⁾.

Na otologia surge-nos uma problemática semelhante dada a dificuldade em fazer corresponder as imagens obtidas, à superfície do paciente, quer pela escassez de pontos de referência proeminentes (como os da face), quer pela complexa configuração em pirâmide da porção petrosa do temporal, onde o seu eixo z excede os eixos x e y da base. No entanto, o uso estratégico de pontos como o trágus, a extremidade da mastóide, o arco zigomático e a sutura fronto-zigomática têm vindo a permitir cada vez mais uma abordagem segura e confiável sem recurso aos marcadores de fixação invasivos anteriormente utilizados ⁽⁴²⁾.

De facto, ainda que não sejam tão amplamente utilizados quanto na rinologia, o uso de sistemas de navegação para colocação percutânea de implantes tem vindo a ganhar destaque, possibilitando uma alternativa à cirurgia clássica por mastoidectomia, através da localização precisa da cóclea e a sua abordagem por perfuração direta da superfície óssea, evitando a lesão de estruturas como o nervo facial e menor tempo de recuperação dos pacientes no pós-operatório ^(42, 43, 44, 45).

Apesar de carecermos de mais estudos e do desenvolvimento de sistemas cada vez mais rigorosos e precisos, a navegação, ainda que com algumas limitações, já começa a evidenciar resultados satisfatórios numa grande variedade de patologias do aparelho auditivo desde o tratamento da otite média crónica, otorrquia, colesteatomas, tumores glómicos, schwannomas e cordomas ^(46, 47) a casos extremamente complexos de

atrésia congénita do canal auditivo ⁽⁴⁸⁾.



Figura 15 – A – Abordagem transtemporal de schwannoma vestibular. **B –** Imagem obtida pelo sistema de navegação ⁽⁴²⁾

Considerações Finais – Perspetivas Futuras

A utilização da navegação em cirurgia ainda não está completamente disseminada na prática clínica, havendo muitos centros que não recorrem ao seu uso em casos que potencialmente teriam indicação para tal. Isto deve-se, não só à modernidade desta tecnologia, que para alguns é ainda algo pouco conhecido, mas também ao elevado custo do seu uso e à necessidade de treino adicional na sua utilização por parte dos clínicos, bem como à disparidade nos resultados de alguns estudos no que toca aos benefícios da sua aplicação na cirurgia endoscópica.

Além disso, os sistemas de navegação atuais apresentam ainda algumas limitações, nomeadamente a utilização de imagens coletadas pré-operatoriamente, sendo que apesar de já começarem a surgir dispositivos portáteis que permitem adquirir imagens de TC ou RMN dentro do bloco, estes são mais dispendiosos e requerem, no caso da TC, a exposição do doente e dos profissionais de saúde a doses adicionais de radiação e, no caso da RMN, que se adapte o bloco operatório e se utilizem instrumentos compatíveis com este exame ^(8,9).

Deste modo, os sistemas de navegação mais avançados e alguns ainda inclusivamente em desenvolvimento, procuram ultrapassar estas dificuldades de diferentes formas, seja através da utilização de sistemas híbridos ótico-eletromagnéticos que possuem a elevada precisão dos sistemas óticos sem perderem a funcionalidade caso a linha de visão sobre o alvo seja interrompida, à semelhança do que ocorre nos eletromagnéticos, seja através do recurso a sistemas multimodais, onde os benefícios da TC na visualização de estruturas ósseas se coadunam com a elevada definição dos tecidos moles da RMN ⁽¹²⁾.

Ainda no âmbito da bioengenharia começam a surgir avanços nas áreas da realidade aumentada e da cirurgia robótica, as quais podem vir a ser integradas com a cirurgia de navegação para se desenvolver um sistema cirúrgico com novas potencialidades (figura 16) ^(49, 50, 51).

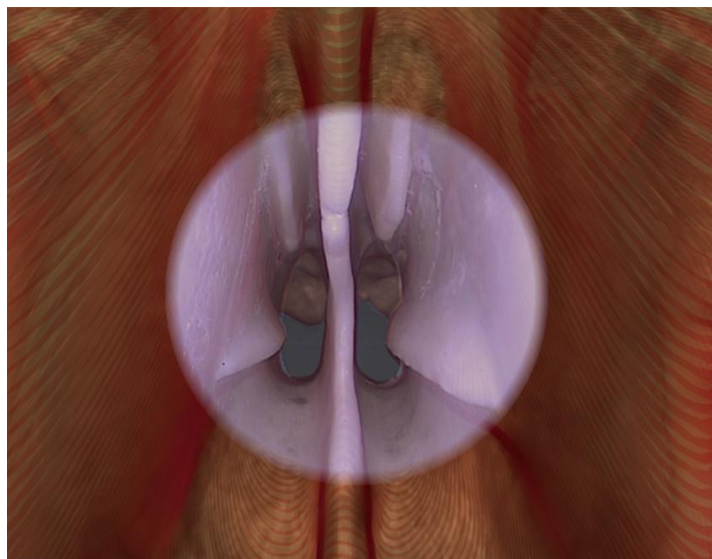


Figura 16 – Realidade Aumentada. Fusão de imagem endoscópica (centro) com reconstrução de imagem em 3D (periferia) ⁽⁴⁹⁾

Em suma, espera-se no futuro que a tecnologia continue a evoluir a par do saber científico, permitindo no domínio cirúrgico obter resultados cada vez melhores, com menos morbilidade e mortalidade, mas que também correspondam aos desejos e necessidades do operador. Assim, o sistema de navegação ideal será aquele que ao mesmo tempo possa ser: portátil e compacto, facilitando o seu transporte e a movimentação dentro do bloco; preciso e exato, diminuindo a margem de erro entre as imagens fornecidas ao cirurgião e a verdadeira posição das estruturas anatómicas; fácil e intuitivo de utilizar, não só para médicos como para outros profissionais de saúde dentro do bloco; cuja preparação do sistema e registo do paciente seja feito de modo rápido e eficiente; com um preço acessível, a fim de que a sua utilização seja custo-efetivo.

Agradecimentos

Começo por agradecer ao Prof. Dr. Óscar Dias pela sugestão do tema da minha tese e pela oportunidade de realizar este trabalho no âmbito da Otorrinolaringologia, agradeço igualmente ao Dr. Marco Simão por aceitar ser meu orientador e me auxiliar ao longo do trabalho, ambos mostraram-se disponíveis para contribuírem com sugestões e para sanarem as minhas dúvidas.

Agradeço também à minha família e amigos que sempre me apoiaram ao longo destes 6 anos nos bons e maus momentos e a quem devo bastante, a eles um grande obrigado.

Bibliografia

1. Mezger U, Jendrewski C, Bartels M. Navigation in surgery. In: *Langenbeck's Archives of Surgery*. ; 2013. doi:10.1007/s00423-013-1059-4.
2. Leeds NE, Kieffer SA. Reflections Evolution of Diagnostic Neuroradiology from 1904. 2000:309-318.
3. Enchev Y. Neuronavigation: geneology, reality, and prospects. *Neurosurg Focus*. 2009;27(3):E11. doi:10.3171/2009.6.FOCUS09109.
4. Lasak JM, Gorecki JP. The History of Stereotactic Radiosurgery and Radiotherapy. *Otolaryngol Clin North Am*. 2009;42(4):593-599. doi:10.1016/j.otc.2009.04.003.
5. Figueras-Benítez G, Urbano L, Acero A, Huerta M, Castro M. Surgical navigation systems : A technological overview. doi:10.13140/RG.2.1.2449.1043.
6. Rui W, Minglu L. An overview of medical image registration. *Comput Intell Multimed Appl 2003 ICCIMA 2003 Proceedings Fifth Int Conf*. 2003:385-390. doi:10.1109/ICCIMA.2003.1238156.
7. Samarakkody ZM, Abdullah B. The use of image guided navigational tracking systems for endoscopic sinus surgery and skull base surgery: A review. *Egypt J Ear, Nose, Throat Allied Sci*. 2016. doi:10.1016/j.ejenta.2016.07.005.
8. Prulière-escabasse V, Coste A. Image-guided sinus surgery. 2010:33-39. doi:10.1016/j.anorl.2010.02.009.
9. Knott PD, Batra PS, Citardi MJ. Computer Aided Surgery: Concepts and Applications in Rhinology. 2006;39:503-522. doi:10.1016/j.otc.2006.01.007.
10. Nijmeh AD, Goodger NM, Hawkes D, Edwards PJ, McGurk M. Image-guided navigation in oral and maxillofacial surgery. *Br J Oral Maxillofac Surg*. 2005. doi:10.1016/j.bjoms.2004.11.018.
11. Caversaccio M, Freysinger W. Computer assistance for intraoperative navigation in ENT surgery. *Minim Invasive Ther Allied Technol*. 2003. doi:10.1080/13645700310001577.
12. Irugu DVK, Stammberger HR. A Note on the Technical Aspects and Evaluation of the Role of Navigation System in Endoscopic Endonasal Surgeries. *Indian J*

- Otolaryngol Head Neck Surg.* 2014. doi:10.1007/s12070-011-0380-x.
13. Soteriou E, Grauvogel J, Laszig R, Grauvogel TD. Prospects and limitations of different registration modalities in electromagnetic ENT navigation. *Eur Arch Oto-Rhino-Laryngology.* 2016. doi:10.1007/s00405-016-4063-9.
 14. Grauvogel TD, Becker C, Hassepass F, Arndt S, Laszig R, Maier W. Comparison of 3D C-Arm–Based Registration to Conventional Pair-Point Registration Regarding Navigation Accuracy in ENT Surgery. *Otolaryngol Neck Surg.* 2015. doi:10.1177/0194599814561175.
 15. Singh A, Saraiya R. Three-dimensional endoscopy in sinus surgery. *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg.* 2013;21(1):3-10. doi:10.1097/MOO.0b013e32835bf58c.
 16. Citardi MJ, Batra PS. Intraoperative surgical navigation for endoscopic sinus surgery : rationale and indications. :23-27.
 17. Metson R, Gliklich RE, Cosenza M. A comparison of image guidance systems for sinus surgery. *Laryngoscope.* 1998;108(August):1164-1170.
 18. Kral F, Puschban EJ. Comparison of optical and electromagnetic tracking for navigated lateral skull base surgery. 2013;(February):247-252. doi:10.1002/rcs.
 19. Keschner D, Lee J. Use of surgical navigation during endoscopic skull base surgery. *Oper Tech Otolaryngol - Head Neck Surg.* 2010;21(1):44-50. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.otot.2009.06.003.
 20. Roberts D. Perspectives Current Limitations and Opportunities for Surgical Navigation. 2014;92(1):7-9.
 21. Franz AM, Haidegger T, Birkfellner W, Cleary K, Peters TM, Maier-Hein L. Electromagnetic tracking in medicine -A review of technology, validation, and applications. *IEEE Trans Med Imaging.* 2014;33(8):1702-1725. doi:10.1109/TMI.2014.2321777.
 22. Bergeron M, Leclerc JE. Is image guidance accurate in children sinus surgery? *Int J Pediatr Otorhinolaryngol.* 2015. doi:10.1016/j.ijporl.2014.12.025.
 23. Netter F. Atlas_of_Human_Anatomy_-_Netter_-_2006.pdf. 2006.
 24. Chandra RK, Conley DB, Kern RC. Evolution of the Endoscope and Endoscopic Sinus Surgery. *Otolaryngol Clin North Am.* 2009;42(5):747-752. doi:10.1016/j.otc.2009.07.010.
 25. Govindaraj S, Adappa ND, Kennedy DW. Endoscopic sinus surgery: evolution

- and technical innovations. *J Laryngol Otol.* 2010;124(3):242-250. doi:10.1017/S0022215109991368.
26. Mueller SA, Caversaccio M. Outcome of computer-assisted surgery in patients with chronic rhinosinusitis. *J Laryngol Otol.* 2010;124(5):500. doi:10.1017/S0022215109992325.
 27. Chu ST. Endoscopic sinus surgery under navigation system - Analysis report of 79 cases. *J Chinese Med Assoc.* 2006;69(11):529-533. doi:10.1016/S1726-4901(09)70323-5.
 28. Eliashar R, Sichel J-Y, Gross M, et al. Image guided navigation system—a new technology for complex endoscopic endonasal surgery. *Postgrad Med J.* 2003;79(938):686-690. <http://pmj.bmj.com/content/79/938/686.abstract>.
 29. Citardi M, Batra P. Revision functional endoscopic sinus surgery. *Revis Sinus Surg.* 2008;(March 1998):251-267.
 30. Sindwani R, Metson R. Image-Guided Frontal Sinus Surgery. 2005;38:461-471. doi:10.1016/j.otc.2004.10.026.
 31. Ca SC, Ca PA. Revision Endoscopic Frontal Sinus Surgery with Surgical Navigation. 2003;(August):2003.
 32. Reardon EJ. Navigational risks associated with sinus surgery and the clinical effects of implementing a navigational system for sinus surgery. *Laryngoscope.* 2002;112(7 Pt 2 Suppl 99):1-19. doi:10.1002/lary.5541121301.
 33. Volpi L, Pistochini A, Bignami M, Meloni F, Turri Zanoni M, Castelnuovo P. A novel technique for tailoring frontal osteoplastic flaps using the ENT magnetic navigation system. *Acta Otolaryngol.* 2012;132(6):645-650. doi:10.3109/00016489.2012.654854.
 34. Ibrahim AA, Okasha M, Elwany S. Endoscopic endonasal multilayer repair of traumatic CSF rhinorrhea. *Eur Arch Oto-Rhino-Laryngology.* 2016;273(4):921-926. doi:10.1007/s00405-015-3681-y.
 35. Tabaee A, Kassenoff TL, Kacker A, Anand VK. The efficacy of computer assisted surgery in the endoscopic management of cerebrospinal fluid rhinorrhea. *Otolaryngol Head Neck Surg.* 2005;133(6):936-943. doi:10.1016/j.otohns.2005.07.028.
 36. Zuckerman JD, DelGaudio JM. Utility of preoperative high-resolution CT and intraoperative image guidance in identification of cerebrospinal fluid leaks for

- endoscopic repair. *Am J Rhinol.* 2008;22(2):151-154. doi:10.2500/ajr.2008.22.3150.
37. Ye P, Huang Q, Zhou B. Endoscopic resection of ossifying fibroma involving paranasal sinuses and the skull base in a series of 15 cases. *Acta Otolaryngol.* 2017;137(7):786-790. doi:10.1080/00016489.2017.1278791.
 38. Pagella F, Pusateri A, Matti E, Emanuelli E. Transnasal endoscopic approach to symptomatic sinonasal osteomas. *Am J Rhinol Allergy.* 2012;26(4):335-339. doi:10.2500/ajra.2012.26.3782.
 39. Reh DD, Lane AP. The role of endoscopic sinus surgery in the management of sinonasal inverted papilloma. *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg.* 2009;17(1):6-10. doi:10.1097/MOO.0b013e32831b9cd1.
 40. Castelnovo P, Battaglia P, Bignami M, et al. Endoscopic transnasal resection of anterior skull base malignancy with a novel 3D endoscope and neuronavigation. *Acta Otorhinolaryngol Ital.* 2012;32:189-191. <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3385062&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>.
 41. Mierzwa K, Mueller A. Image-guided surgery in na occult neck metastasis. *Wiley Periodicals, Inc. Head Neck.* 2009. 32: 550–553. doi: 10.1002/hed.21118.
 42. Jolesz F a. *Intraoperative Imaging and Image- Guided Therapy.*; 2014. doi:10.1007/978-1-4614-7657-3.
 43. Labadie RF, Majdani O, Fitzpatrick JM. Image-Guided Technique in Neurotology. *Otolaryngol Clin North Am.* 2007;40(3):611-624. doi:10.1016/j.otc.2007.03.006.
 44. Labadie RF, Balachandran R, Noble JH, et al. Minimally invasive image-guided cochlear implantation surgery: First report of clinical implementation. *Laryngoscope.* 2014;124(8):1915-1922. doi:10.1002/lary.24520.Minimally-Invasive.
 45. Hill C, Jain A, Takemoto H, et al. Minimally-Invasive, Image-Guided Cochlear Implantation for Pediatric Patients – Clinical Feasibility Study. *Proc SPIE--the Int Soc Opt Eng.* 2015;73(4):389-400. doi:10.1530/ERC-14-0411.Persistent.
 46. Kohan D, Jethanamest D. Image-guided surgical navigation in otology. *Laryngoscope.* 2012;122(10):2291-2299. doi:10.1002/lary.23522.
 47. Nemec SF, Donat MA, Mehra S, et al. CT-MR image data fusion for computer

- assisted navigated neurosurgery of temporal bone tumors. *Eur J Radiol.* 2007;62(2):192-198. doi:10.1016/j.ejrad.2006.11.029.
48. Caversaccio M, Romualdez J, Baechler R, Nolte LP, Kompis M, Häusler R. Valuable use of computer-aided surgery in congenital bony aural atresia. *J Laryngol Otol.* 2003;117(4):241-248. doi:10.1258/00222150360600814.
 49. Li L, Yang J, Chu Y, et al. A novel augmented reality navigation system for endoscopic sinus and skull base surgery: A feasibility study. *PLoS One.* 2016;11(1):1-17. doi:10.1371/journal.pone.0146996.
 50. Citardi MJ, Yao W, Luong A. Next-Generation Surgical Navigation Systems in Sinus and Skull Base Surgery. *Otolaryngol Clin North Am.* 2017;50(3):617-632. doi:10.1016/j.otc.2017.01.012.
 51. Medical Imaging Technology. 2015;(May 2016). doi:10.1007/978-981-287-540-2.